第 37 卷第 6 期
2017 年 3 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37, No.6
Mar., 2017

DOI: 10.5846/stxb201510282180
李全,李腾,杨明正,应玮.基于梯度分析的武汉市生态系统服务价值时空分异特征.生态学报,2017,37(6):2118-2125.
Li Q, Li T, Yang M Z, Ying W.Spatiotemporal variation of ecosystem services value based on gradient analysis in Wuhan: 2000—2010. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(6): 2118-2125.

基于梯度分析的武汉市生态系统服务价值时空分异特征

李 全[1,2,*],李 腾[1,3],杨明正[1],应 玮[1]
1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079
2 地理信息系统教育部重点实验室, 武汉 430079
3 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 北京 100875

摘要:以 2000 年和 2010 年覆盖武汉市域的 6 景 Landsat TM/ETM+遥感影像为基础数据,运用最大似然分类法提取土地利用类型,结合计算的武汉市单位面积生态系统服务价值,得到栅格尺度的武汉市生态系统服务价值分布图,并引入梯度分析方法,以城市中心为原点设置梯次环及考虑城市发展轴线设置采样条带,选取生态系统服务价值变化量和变化率两项指标进行梯度分析。结果表明,2000—2010 武汉市总的生态系统服务价值共减少了 2.68 亿元;梯次环分析发现,武汉距离城市中心 12—30km 的北 3—5 环,以及距离市中心 12—24km 的南 3—4 环生态系统服务价值下降最为显著,而北 8 环及南 7 环则上升最为明显;条带分析发现,在东西向条带上,生态系统服务价值变化率曲线图呈现出一个对称的"W"形,而在南北方向上,变化率曲线可以按照变化的幅度分成了 4 个部分,此外与梯次环变化率曲线规律一致的是,北部要比南部变化更为剧烈。

关键词:生态系统服务价值;梯度分析;时空分异;武汉市

Spatiotemporal variation of ecosystem services value based on gradient analysis in Wuhan: 2000—2010

LI Quan[1,2,*], LI Teng[1,3], YANG Mingzheng[1], YING Wei[1]
1 *School of Resources and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan* 430079, *China*
2 *Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan* 430079, *China*
3 *College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing* 100875, *China*

Abstract: Ecosystems provide a multitude of services that are fundamental to the well-being, livelihood, health, and survival of humans. A comprehensive understanding of the spatiotemporal features of Ecosystem Services Value (ESV) is necessary for appropriate land use and land management in metropolitan areas. Based on this research, methods of quantitative analysis could be considerably improved. Considering Wuhan as an example, we classified Landsat TM/ETM+ images into developed land, unused land, arable land, garden plots, forests, and water by using a maximum likelihood analysis, and calculated the ESV per unit area. Based on spatial distributional maps of ESV, we introduced a gradient analysis and set gradient circles and belt transects to analyze the spatiotemporal features of ESV. The main conclusions were 1) the amount of ESV decreased by 268 million RMB from 2000 to 2010; 2) based on the gradient circles analysis, ESV decreased within the north 3rd to 5th ring road (corresponding to 12—30 km from the urban center) and south 3rd to 4th ring road (corresponding to 12—24 km from the urban center), whereas ESV increased within the north 8th ring and south 7th

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71073116);国家基础科学人才培养基金科研能力训练项目(J1103409)
收稿日期:2015-10-28; **网络出版日期:**2016-08-02
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: leequang@ whu.edu.cn

ring;3) based on the belt transects analysis, the change rate of ESV showed a symmetrical W-shape pattern latitudinally, whereas longitudinally, it was partitioned into four sections based on theamplitude of the ESV change rate. Overall, northern Wuhan demonstrated more changeability in ESV than the southern area.

Key Words: Ecosystem Services Value (ESV); gradient analysis; spatiotemporal variation; Wuhan

生态系统是人类生存发展必不可少的基础,它的存在及形成过程为人类提供了各种服务与效用[1-3]。生态系统服务价值(Ecosystem Services Value,ESV)是指人类从这些生态系统功能中直接或间接所获得利益的货币价值化[4]。生态系统服务价值和区域的自然地理要素分布、社会经济发展状况密切相关[5]。这些因素在空间上均具有随机性和结构性,因此生态系统服务价值存在着一定的空间关联性[2,6]。对区域生态系统服务价值的时空分异特征进行研究,有利于揭示研究对象之间空间相互作用的机制,对于指导生态城市的建设和城市可持续发展具有重要意义。

1997 年,Costanza[7]在《Nature》上发表"全球生态系统服务价值和自然资本"一文,使生态系统服务价值的定量评估成为国际可持续发展研究的热点之一,引发了国内外众多学者对生态系统服务价值的理论、评价、核算方法和应用的研究[8]。现有研究中,生态系统服务价值分布空间格局的分析研究是一个重要的组成部分。国内方面,一部分研究按照生态系统服务价值的高低将研究区进行区划,分区比较变化情况[9],或是分析土地利用结构变化与生态系统服务价值之间的敏感性[10]。而大多数生态系统服务价值的时空分异特征分析基于地统计方法,如胡和兵等计算了流域内部的全局和局部自相关系数[11],彭保发等将离散的生态系统服务价值栅格数据进行克里格插值[12],张晓楠等选择在不同方向上的生态系统服务价值的空间异质性分析[13],以及赵亮对饶力河流域在 60 年间生态价值质心的定位与转移研究[14]。国际方面,Li 等[15]对中国 1990—2010 年间的 ESV 空间变化进行了热点和冷点分析,Wang 等[16]以大区为单元分析了中国 1980—2010 年间的 ESV 的时空分异,Zhao[17], Li[18], Wu[19]则分别研究了崇明岛、杭州及深圳的土地利用变化对其生态系统服务价值变化的影响。总体来说,有关生态系统服务价值本身的空间分布规律的量化研究数量有限且方法单一。

空间梯度,是指沿某一方向景观特征有规律地逐渐变化的空间特征[20]。梯度分析最早应用于植被分布规律的分析,McDonnell 等指出"城市-乡村"梯度与"城市-郊区"梯度相似,可沿着城市化的梯度的截面上采样[21]。国外学者在"城市-乡村"梯度上对生态系统服务价值进行了一些实证研究,比如 Radford[22]在英国 Greater Manchester 地区对 9 种生态系统服务进行采样,并按照不透水层的比例分为城市、近郊、远郊、乡村 4 层梯度;Kroll[23]则对德国统一以来东德 Leipzig-Halle 地区生态系统服务供需关系的时空变化进行研究,并指出人口是生态系统服务需求变化最重要的驱动力。梯度分析虽然已是一种广泛应用于地理要素时空分异特征研究的有效方法,但是目前的研究主要集中于景观结构特征。

为了揭示生态系统服务价值的时空变化特征以及其在距离城市中心不同截面的空间规律,本文以 Costanza、谢高地等学者的研究成果为基础,结合遥感和地理信息系统技术,对武汉市 2000 年和 2010 年生态系统服务价值进行估算,并将梯度分析引入研究,系统分析研究对象的空间分布格局及其时空变化过程。

1　数据与方法

1.1　研究区

武汉市位于江汉平原东部,长江和汉水交汇处,地跨 113°41′—115°05′E, 29°58′—31°22′N,全市总面积 8467.11 km^2,是湖北省最大的城市,也是华中地区政治、经济、教育和文化中心。该市属于亚热带季风气候,水资源丰富,河湖众多。武汉市目前城市人口达 1060 万人,国内生产总值超过 1 万亿元。自 20 世纪 80 年代后期以来,武汉城市化发展迅速,建设用地占用耕地、水域,导致土地利用类型发生剧烈变化,因而引起武汉市

的生态系统服务价值起伏波动。

1.2 土地利用分类

以 2000 年 3 月的 3 景 Landsat TM 影像和 2010 年 3 月的 3 景去除条带后的 Landsat /ETM+影像为基础数据,利用 ERDAS IMAGINE 9.2 软件选择 4、3、2 三个波段、参考武汉市地形图几何校正,并进行图像增强、数据融合等预处理,在此基础上进行矢量多边形裁切,获得武汉市域范围的遥感影像。以《土地利用现状分类》(GB /T 21010—2007)的一级分类为基础,结合武汉市土地利用类型图,在 ERDAS IMAGINE 9.2 环境下,运用最大似然分类法对影像进行解译处理,同时对于个别明显误判的图斑通过野外观测修正,提取出林地、园地、耕地、水域、未利用地、建设用地共 6 种土地利用类型。两期影像土地利用分类总精度分别为 81.2%、87.3%,Kappa 值分别为 0.7935、0.8476,各类别生产者精度和用户精度在 80%以上,达到分类精度要求。经过精度检验合格后,得到 2000 年和 2010 年武汉市土地利用类型图。

1.3 生态系统服务价值计算

参考谢高地等对生态服务当量因子的经济价值计算的方法[24],根据武汉市粮食生产收益计算武汉市生态服务价值因子的经济价值。其中,水域对应河流/湖泊生态系统,耕地对应农田生态系统,林地对应森林生态系统,园地对应森林和草地生态系统,未利用地对应荒漠生态系统。基于武汉市统计年鉴中的粮食产值与耕种面积数据,计算得武汉市 2010 年平均粮食生产的单位面积总收益为 13625.252 元/hm^2。根据武汉市物价局农产品成本收益资料,得知武汉市单位面积总投入(包括劳动、化肥、机械和其他 4 项)为 8091 元/hm^2;另根据胡瑞法和冷燕研究[25],估计 2005 年全国平均粮食生产的影子地租,比较估计获得武汉土地用于粮食生产的影子地租约为 3000 元/hm^2,依此计算武汉单个生态服务价值当量因子的经济价值量为 2534.252 元/hm^2。将此值与各生态服务价值当量值相乘,可获得生态系统功能服务价值系数,即单位面积生态系统的服务价值。计算所得 2010 年年武汉市林地、耕地、园地、水域、建设用地及未利用地的单位面积生态系统服务价值分别为 71263、20021、45642、114928、0、1064 元 hm^{-2} a^{-1}。

然后,应用 Costanza 生态系统服务价值计算公式,计算武汉市生态系服务价值。

$$\mathrm{ESV}_k = A_k \times \sum VC_k \tag{1}$$

$$\mathrm{ESV} = \sum_{1}^{k} ESV_k \tag{2}$$

式中,ESV_k表示第 k 种土地利用类型的生态服务价值(元),A_k表示第 k 种土地利用类型的面积(hm^2),VC_k表示第 k 种土地利用类型生的生态系统服务价值系数(元 hm^{-2} a^{-1}),EVS 表示区域生态系统服务总价值(元)。

1.4 梯度分析

为了探讨武汉市生态系统服务价值的空间分布特征,引入梯度分析,并设置如下:

(1) 以武汉市城市中心为圆心,半径每次增加 6km,在北部地区设置 14 个梯次环,在南部地区设置 11 个梯次环,分别计算每环内部的生态系统服务价值。

(2) 考虑东西向沿江发展轴线和南北向交通发展轴线,设置南北(S-N)、东西(W-E)两条样带,样带宽 9km,每条样带以 3km 为步长再纵向划分为 9km×3km 的矩形样方,在南北向样带上有 31 个矩形样方,在东西向样带上有 16 个矩形样方,每次取样取出 3 个矩形样方,采样框分别由南向北、由西向东依次滑动,每次采样记录样方单元内的生态系统服务价值。如此,南北向采样 29 次,东西向采样 14 次。

为了便于量化比较 10 年之间武汉市生态系统服务价值的变化,本文定义了变化量和变化率两项指标用以表征变化状况。

变化量计算公式:

$$V_j = V_{j2010} - V_{j2000} (j = 1,2,3,\cdots\cdots) \tag{3}$$

式中,V_j表示单元 j 在 2000 年到 2010 年生态系统服务价值的变化量,V_{j2010}、V_{j2000}分别表示单元 j 在 2010、2000 年的生态系统服务价值,j 表示不同的梯次环或者条带上的样方。

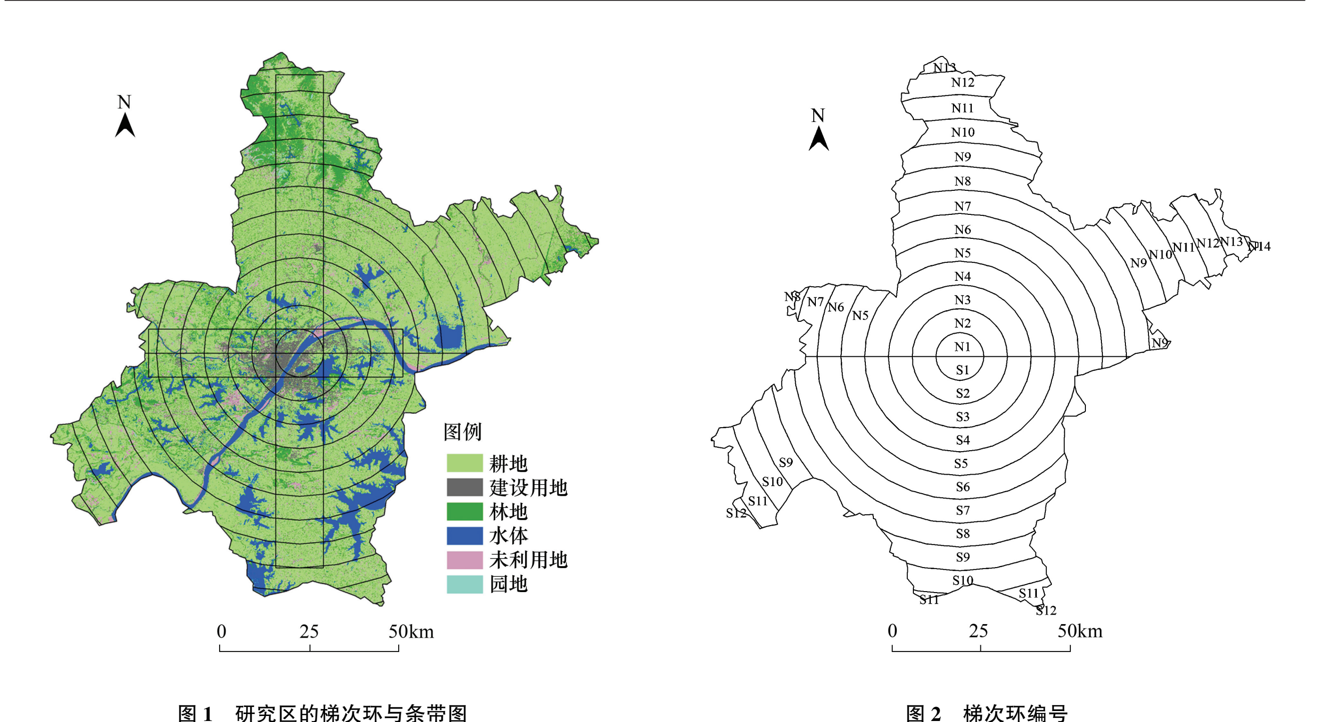


图 1　研究区的梯次环与条带图

Fig.1　The gradient torus and belt transects in study area

图 2　梯次环编号

Fig.2　The coding of gradient circles

变化率计算公式:

$$R_j = \frac{(V_{j2010} - V_{i2010})}{V_{j2000}} (j = 1,2,3,\cdots\cdots) \tag{4}$$

式中,R_j表示单元j在 2000 年到 2010 年生态系统服务价值的变化率,V_{j2010}、V_{j2000}及j的含义同式(3)。

2　结果与分析

2.1　生态系统总价值构成与变化分析

从土地利用类型图统计得到 6 种土地利用类型的面积,再乘以对应的单位面积生态系统服务价值,得到武汉市 6 种土地利用类型的生态系统服务价值及其总量(表 1)。

从表 1 中可以看出,武汉市生态系统服务价值总值 2000 年为 281.39 亿元,2010 年为 278.71 亿元。从用地类型的构成上来看,耕地的面积广大,所以尽管其单位价值不高但是对总的生态服务价值的贡献率最大,超过 33%。水域由于生态价值极高,故虽其面积不足全市面积的 10%,但对总体服务价值的贡献率也超过了 30%。林地的面积和单位价值居于水域和耕地之间,总体贡献率超过 32%。以上 3 种用地类型约为总面积的 83%,对于总体价值的贡献率达到 98%以上。另外 3 种用地类型(园地、建设用地、未利用地)之和约占总面积的 16%—17%,然而或因面积太小,或因单位价值过低,对总体价值的贡献率不足 2%。

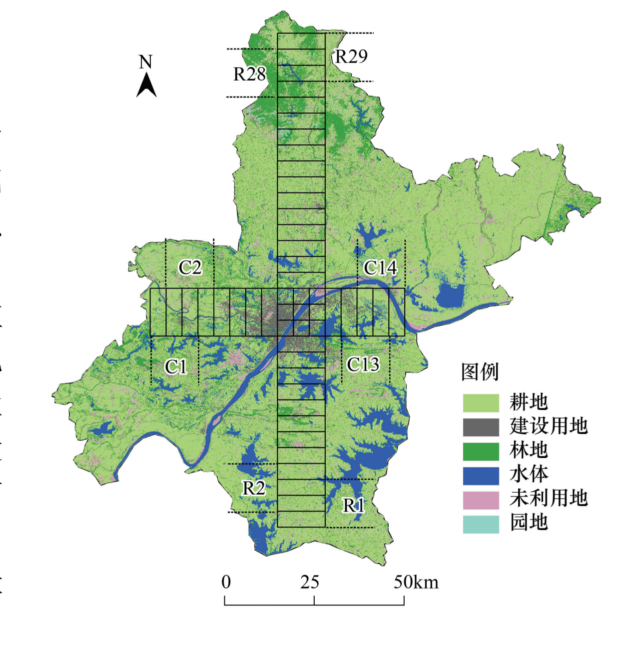


图 3　条带样方编号

Fig.3　The coding of belt transects

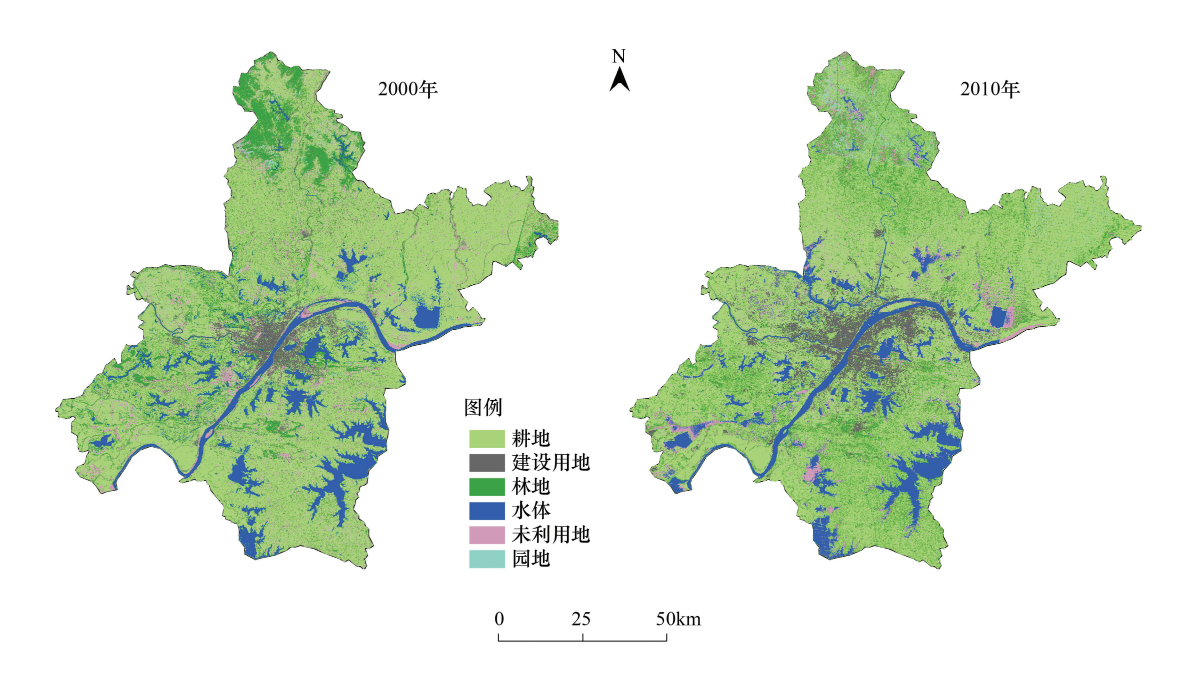


图 4 土地利用类型的分类结果

Fig.4 Classification result of land use

表 1 2000 年与 2010 年不同用地类型生态系统服务价值及其在总价值中的比例(万元、%)

Table 1 ESV of various ecosystem types and their proportion in the total value in 2000 and 2010

年份 Year	生态系统 Ecosystem types						总价值 Total ESV
	水域 Water	耕地 Arable land	林地 Forest	园地 Garden land	建设用地 Development land	未利用地 Unutilized land	
2000	913179	945758	916637	29090	0	9276	2813940
	32.45	33.61	32.57	1.03	0.00	0.33	100
2010	890030	942216	901037	46604	0	7235	2787122
	31.93	33.81	32.33	1.67	0.00	0.26	100

从变化上来看,10 年之间武汉市生态系统价值总值降低了 2.68 亿元,约占总值的 1%。对总价值贡献最大的 3 种用地类型的价值均出现不同比例的下降,其中水域的下降比例最大,由水域引起的价值下降占到了总体减少的 52.27%;其次是林地,占到 35.19%。以上 6 种用地类型中仅有园地的价值上升,这应与周边的蔡甸、江夏、黄陂近郊区将一部分农田改为果园有关。

2.2 基于梯次环的生态系统服务价值变化分析

将 2010 年与 2000 年武汉市生态系统服务价值数据进行叠置分析,同一个梯次环内部若变化量为负值表示该环内 10 年间的生态系统服务价值下降,反之则表示价值上升。将得到的运算结果渲染为 9 个等级(图 5)。统计各梯次环的变化量数据,得出变化率曲线图(图 6)。

如图 5、图 6 所示,自城市中心向外,生态系统服务价值在南北方向均表现为“上升—下降—上升”的基本趋势。代表着城市核心地带的最内环 10 年间生态系统服务价值轻微上升,自内环向外,南北方向均出现了生态系统服务价值的显著下降。其中北部主要发生在 2—5 梯次环,即距城市中心 6—30km 的范围,而南部主要发生在 2—4 梯次环,即距城市中心 6—24km 的范围。比较而言,北部地区无论是生态系统服务价值下降的范围还是幅度均超过南部地区。在这一区域的外围,城市生态系统服务价值又都出现不同程度的上升,但从增长的数量看,南部地区的增长要显著高于北部地区。

分析出现这一变化规律的原因,中心城区开发充分,基本不会再开发新的建设用地,其生态系统服务价值的轻微上升主要受到长江水域面积年际变化及绿地面积增加的影响。其次,生态系统服务价值严重下降的区

域集中在市区外围,这些地区对应城市化进程最迅猛的区域。对照武汉城市总体规划(1996—2020),不难发现下降幅度最大的北三四五环是规划中吴家山、盘龙、阳逻、五湖、北湖等新城或新城组团所在的区域,而南二三环则是近年发展迅猛的江夏区所在位置。地处最外围的乡村地带在 2000—2010 年间城市化进程相对缓慢,依然是广大的耕地占据主导地位,随着退耕还林还草政策的实施,生态系统服务价值呈现上升态势,尤其是西北部木兰山风景区和东南部的梁子湖区保护得当,生态系统服务价值上升尤为明显。

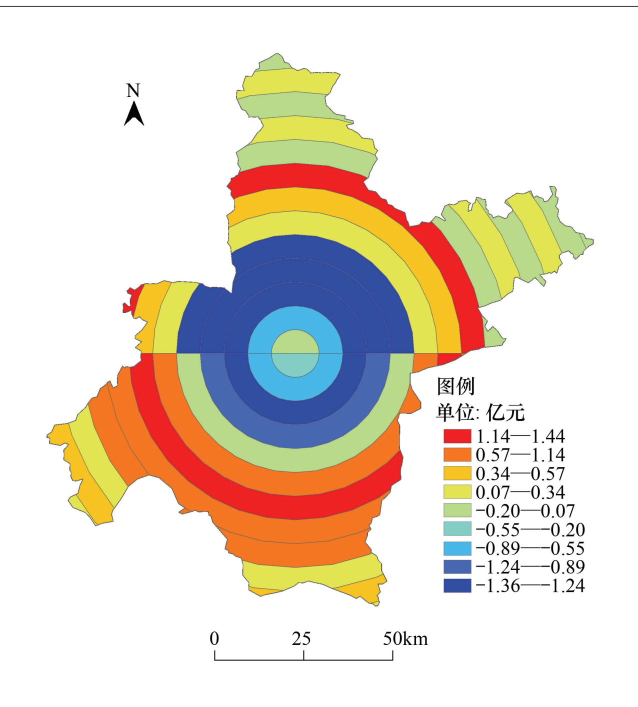


图 5　2000—2010 年各梯次环上生态系统服务价值变化量

Fig.5　Variation of ESV with respect to circles, 2000—2010

2.3　基于条带的生态系统服务价值变化分析

与基于梯次环的变化率曲线图相似,东—西向条带上生态系统服务价值变化率曲线图呈现出一个对称的“W”形,从中心向外围依次为“正—负—正”的趋势,但在左半部分(C0—C6)变化更为剧烈,近 10 年来武汉市沿汉江向上游开发力度较大,大量耕地转化为建设用地是造成这种现象的直接原因。右半部分(C9—C14)变化轻微,C9—C13 减少的部分主要来自东湖、沙湖面积萎缩;C14 略有增加,同中心城区类似地,主要与长江江面宽度的年际变化有关。

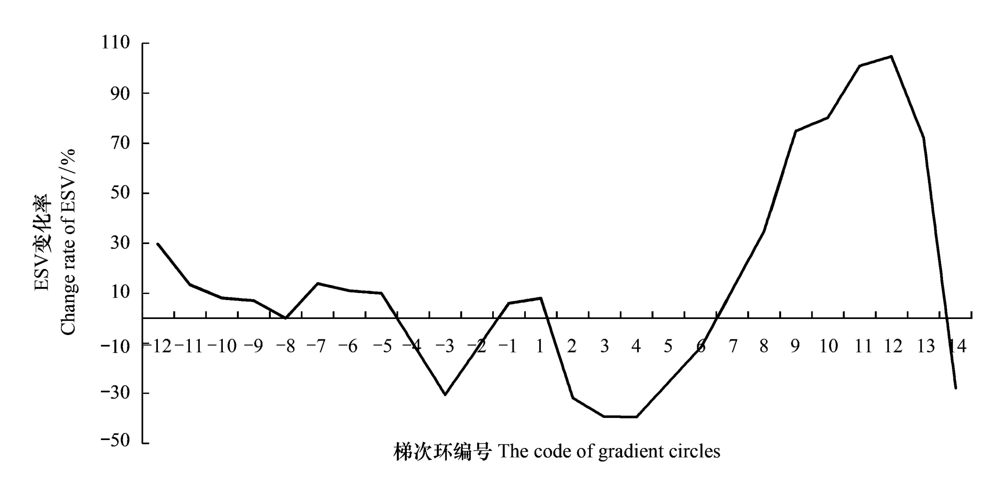


图 6　2000—2010 各梯次环上生态系统服务价值变化率曲线

Fig.6　Change rate of ESV with respect to belt transects, 2000 —2010

南—北向条带上生态系统服务价值变化率曲线可以划分为 4 个部分:样方 R1—R7,位于武汉市南部远郊地区,用地类型主要是耕地,此部分生态系统服务价值有较大比例上升;样方 R8—R12,位于南部的近郊和市区,耕地、水域、建设用地混杂在一起,生态系统服务价值基本保持不变;样方 R13—R20,位于北部的市区和近郊,生态系统服务价值减少明显;样方 R21—R29,位于北部远郊地区和木兰山风景区,此部分生态系统服务价值呈剧烈上升。总体而言,以 R12 为中心向南北两个方向上仍然保持了“上升—下降—上升”的基本趋势,且与基于梯次环的变化率曲线规律一致;北部要比南部变化更为剧烈。

3　结论与讨论

3.1　结论

本文计算了武汉市单位面积生态系统服务价值,并引入梯度分析方法对 2000—2010 年武汉市土地利用

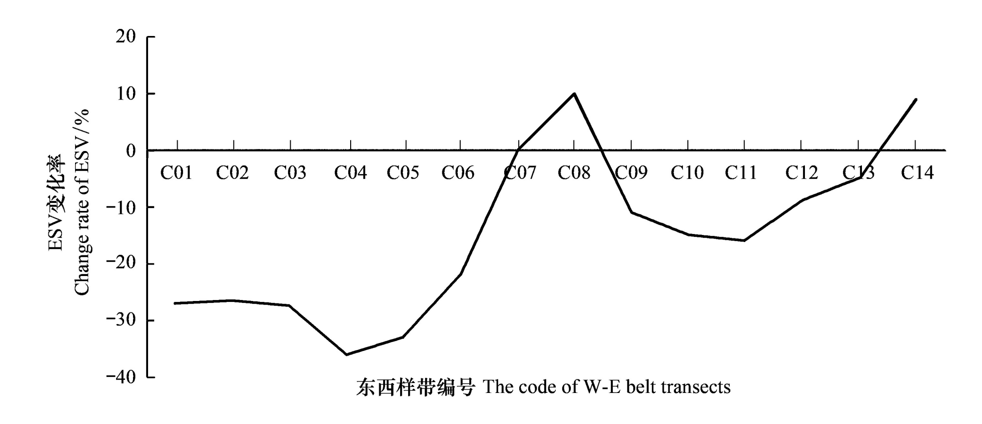


图 7 2000—2010 年东-西条带上生态系统服务价值变化率曲线

Fig.7 Change rate of ESV with respect to W-E belt transects

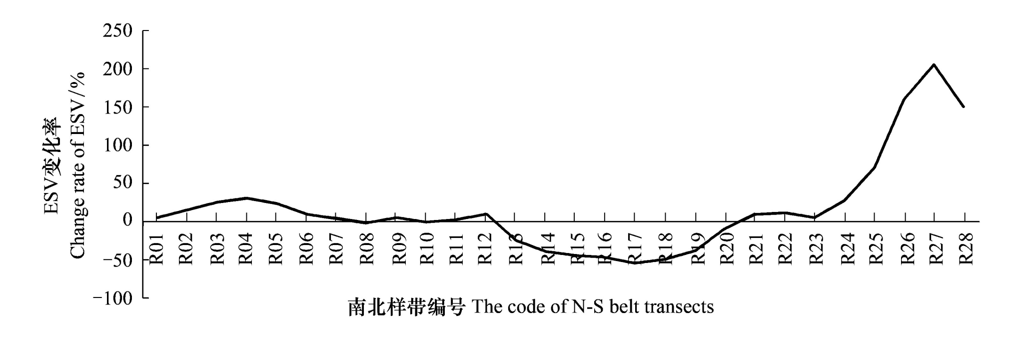


图 8 2000—2010 年南-北条带上生态系统服务价值变化率曲线

Fig.8 Change rate of ESV with respect to S-N belt transects

时空变化所导致的生态系统服务价值时空分异特征进行了分析,分析发现:

(1)2000—2010 年武汉市总生态系统服务价值共减少了 2.68 亿元,其中由于水域面积萎缩造成的生态系统服务价值下降最为严重。

(2)基于梯次环分析,在距离城市中心 12—30km 的北 3—5 环,以及距离市中心 12—24km 的南 3—4 环生态系统服务价值下降最为显著,而北 8 环及南 7 环则上升最为明显。

(3)基于条带分析,在东西向条带上,生态系统服务价值变化率曲线图呈现出一个对称的“W”形,而在南北方向上,变化率曲线可以按照明显上升、基本不变、明显下降及剧烈上升分成 4 个部分。此外,与梯次环变化率曲线规律一致的是,北部要比南部变化更为剧烈。

3.2 讨论

本文的评估和分析有利于对生态系统服务价值空间格局及时空分异规律的认识和理解,为城市规划、土地利用及城市管理决策部门提供宏观参考。不过,生态系统服务价值评估涉及到资源经济学、环境经济学、生态经济学、生态学、人口学和经济学等多种学科,由于本文着重探讨生态系统服务价值的空间格局分析,对生态系统服务价值的估算尚不够精细和全面,亦仅计算了土地利用类型的生态系统服务价值总量,未能顾及同一种土地利用类型内部具体的生态系统服务。同时,在后续研究中可以考虑在收集更多城市化相关社会经济数据的基础上,结合城市化程度来进一步分析城市化对生态系统服务价值的影响。

参考文献(References):

[1] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估. 生态学报, 2001, 21(11):1918-1926.

[2] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington DC:Island Press, 1997: 100-110.

[3] Cairns Jr J. Protecting the delivery of ecosystem services. Ecosystem Health, 1997, 3(3): 185-194.

[4] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 曹淑艳, 肖玉. 生态系统服务的供给、消费和价值化. 资源科学, 2008, 30(1): 93-99.

[5] 许倍慎, 周勇, 徐理, 于雷, 吴文斌. 湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征. 生态学报, 2011, 31(24): 7379-7387.

[6] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.

[7] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, FarberS, GrassoM, HannonB, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, ParueloJ, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Ecological Economics, 1998, 25(1): 3-15.

[8] 闵捷, 高魏, 李晓云, 张安录. 武汉市土地利用与生态系统服务价值的时空变化分析. 水土保持学报, 2006, 20(4): 170-174.

[9] 熊永柱, 樊风雷, 朱长柏, 张正栋. 广州市生态系统服务价值时空变化遥感监测. 广东农业科学, 2012, 39(15): 196-201.

[10] 程琳, 李锋, 邓华锋. 中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变. 生态学报, 2011, 31(20): 6194-6203.

[11] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 安静. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应. 生态学报, 2013, 33(8): 2565-2576.

[12] 彭保发, 陈端吕. 常德市土地覆被的生态服务价值空间变异分析. 经济地理, 2012, 32(1): 141-145.

[13] 张晓楠, 宋宏利, 李振杰. 基于地统计学的区域生态服务价值空间分异规律研究. 水土保持研究, 2012, 19(6): 168-171, 175-175.

[14] 赵亮, 刘吉平, 田学智. 近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化. 生态学报, 2013, 33(10): 3169-3176.

[15] Li G D, Fang C L, Wang S J. Exploring spatiotemporal changes in ecosystem-service values andhotspots in China. Science of the Total Environment, 2016, 545-546: 609-620.

[16] Wang W J, Guo H C, Chuai X W, Dai C, Lai L, Zhang M. The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution. Environmental Science&Policy, 2014, 44: 62-72.

[17] Zhao B, Kreuter U, Li B, Ma Z J, Chen J K, Nakagoshi N. An ecosystem service value assessment of land-use change onChongming Island, China. Land Use Policy, 2004, 21(2): 139-148.

[18] Li T H, Li W K, Qian Z H. Variations in ecosystem service value in response to land usechanges in Shenzhen. Ecological Economics, 2010, 69(7): 1427-1435.

[19] Wu K Y, Ye X Y, Qi Z F, Zhang H. Impacts of land use/land cover change and socioeconomic developmenton regional ecosystem services: the case of fast-growing Hangzhou metropolitan area, China. Cities, 2013, 31: 276-284.

[20] 傅伯杰, 邱扬, 陈利顶. 景观生态学的原理及应用//中国地理学会自然地理专业委员会. 全球变化区域响应研究. 北京: 科学出版社, 2000.

[21] McDonnell M J, Pickett S T A, Groffman P, Bohlen P, Pouyat R V, Zipperer W C, Parmelee R W, Carreiro M M, Medley K. Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient. Urban Ecosystems, 1997, 1(1): 21-36.

[22] Radford K G, James P. Changes in the value of ecosystem services along a rural-urban gradient: a case study of Greater Manchester, UK. Landscape and Urban Planning, 2013, 109(1): 117-127.

[23] Kroll F, Müller F, Haase D, Fohrer N. Rural-urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics. Land Use Policy, 2012, 29(3): 521-535.

[24] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.

[25] 胡瑞法, 冷燕. 中国主要粮食作物的投入与产出研究. 农业技术经济, 2006, (3): 2-8.